

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Povrchové úpravy motorových ventilů

Surface finish of engine valves

KMT – B – 171

Pavel Kubášek

Vedoucí práce: Prof. Ing. Petr Louda, CSc

Konzultant: Ing. Jan Šmíd

Počet stran: 39

Počet tabulek: 6

Počet grafů: 6

Počet obrázků: 16

3. 1. 2011

Anotace:

Jméno a příjmení: Pavel Kubášek

Bakalářská práce se věnuje ventilům spalovacích motorů. V teoretické části je zpracován přehled materiálů, charakterizováno namáhání a pracovní prostředí ventilů. Dále jsou popsány jednotlivé části ventilu, povrchové úpravy a výroba ventilů ve firmě TRW – DAS a.s. Dačice. V praktické části jsem zjišťoval čas potřebný pro vytvoření požadované nitridované vrstvy na povrchu ventilu a také zkoumal vliv nitridace na změnu důležitých rozměrů ventilu.

Klíčová slova: ventily, nitridace, chromování, materiály ventilů

Annotation:

Name and surname: Pavel Kubášek

The thesis is devoted to valves of combustion engines. An overview of materials is compiled and the straining and operational environment of valves is featured in the theoretical part. Further the particular parts of valve, surface finish and production of valves in the company TRW – DAS a.s. Dačice are described. I was finding the time necessary for making the required nitrided layer on the surface of the valve in the practical part and I was also exploring the influence of nitriding on a change of important dimensions of the valve.

Keywords: valves, nitriding, chromizing, materials valves

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval (a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 3. 1. 2011

Podpis:

Obsah bakalářské práce

1. Úvod	7
2. Teoretická část.....	8
2.1 Popis ventilu a jeho částí.....	8
2.1.1 Hlava ventilu	8
2.1.2 Dřík ventilu	10
2.1.3 Drážky ventilu	11
2.2 Namáhání ventilů	12
2.3 Materiály ventilů	13
2.3.1 Feriticko – martenzitické ventilové oceli	14
2.3.2 Austenitické ventilové oceli	14
2.3.3 Ventilové oceli s vysokým obsahem niklu	15
2.3.4 Speciální materiály	17
2.4 Povrchové úpravy ventilů	18
2.4.1 Galvanické chromování.....	18
2.4.2 Nitridace	19
2.4.3 Karbonitridace	22
2.5 Přehled výroby ventilů v TRW – DAS a.s. Dačice	23
2.5.1 TRW	23
2.5.2 Proces výroby ventilů	23
3. Praktická část	26
3.1 Vliv času nitridace na hloubku nitridační vrstvy	26
3.1.1 Vzorky ventilů	26
3.1.2 Chemicko - tepelné zpracování.....	26
3.1.3 Měření	27
3.1.4 Naměřené hodnoty.....	28
3.1.5 Diskuse výsledků	31

3.2 Změna rozměrů ventilů vlivem nitridace	33
3.2.1 Měřené rozměry	33
3.2.2 Postup zkoušky	34
3.2.3 Použitá měřidla	34
3.2.4 Naměřené hodnoty	34
3.2.5 Diskuse výsledků	37
4. Závěr	38
5. Seznam použité literatury	39

1. Úvod

Motorové ventily jsou součástí spalovacího motoru sloužící k zavírání a otevírání sacích nebo výfukových kanálů. Na každý válec čtyřdobého motoru je zapotřebí alespoň jeden sací a jeden výfukový ventil. Jejich základní rozdělení je tedy na sací a výfukové ventily. Tvar a technologické provedení je výsledkem zkoumání a zkušeností konstruktérů. Za dobu vývoje motorů došlo k ověření několika konstrukcí ventilů, které se používají podle typu a zatížení motoru. Ventily pracují v prostředí, kde na ně působí agresivní plyny, vysoké teploty a tlaky, což klade na materiál značné nároky z hlediska tvrdosti, pevnosti, ořezuvzdornosti, teplotní a chemické odolnosti. Pro zlepšení mechanických vlastností ventilů se používá povrchových úprav některých částí nebo celého ventilu. Obvyklou povrchovou úpravou je chromování dřívku. Další povrchovou úpravou je nitridace, která stále ve větší míře nahrazuje chromování, neboť při ní dochází k zlevnění výroby a snížení ekologické zátěže při výrobě ventilů.

Cílem teoretické části práce je popsat jednotlivé části ventilu, shrnout poznatky týkající se konstrukce a namáhání ventilu, zpracovat přehled používaných materiálů a povrchových úprav a stručně popsat výrobu ventilů v TRW – DAS a.s. Dačice. V praktické části je cílem zjistit čas potřebný pro vytvoření předepsané nitridované vrstvy na povrchu ventilu u dvou materiálů používaných v TRW – DAS a.s. Dačice. Dalším úkolem je zjistit, jaký vliv má tato povrchová úprava na změnu rozměrů ventilu.

2. Teoretická část

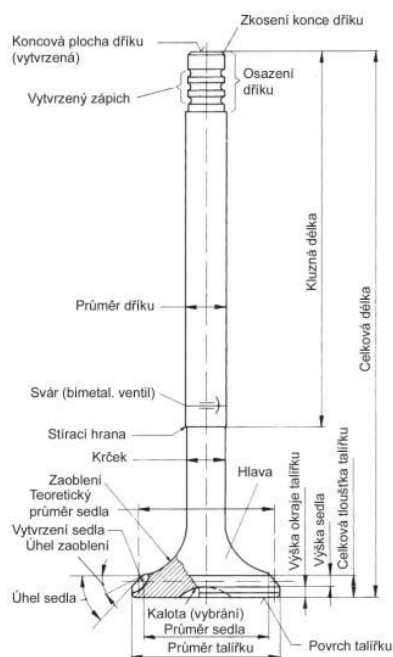
2.1 Popis ventilu a jeho částí

Jednotlivé části ventilu mají odborné názvy a plní různé účely. V úvodní kapitole jsou tyto části ventilu popsány a detailněji je vysvětlena jejich konstrukce a funkce.

Ventil má tyto části:

- hlavu (talířek) ventilu s kuželovou těsnicí plochou, která se nazývá sedlo
- dřík s drážkou (zápichem) pro klínek
- krček, přechod mezi hlavou a dříkem

Na obrázku č. 1. jsou vyznačeny a popsány jednotlivé části ventilu, a okótovány podstatné funkční rozměry.



Obr. 1 - Názvy jednotlivých částí ventilu

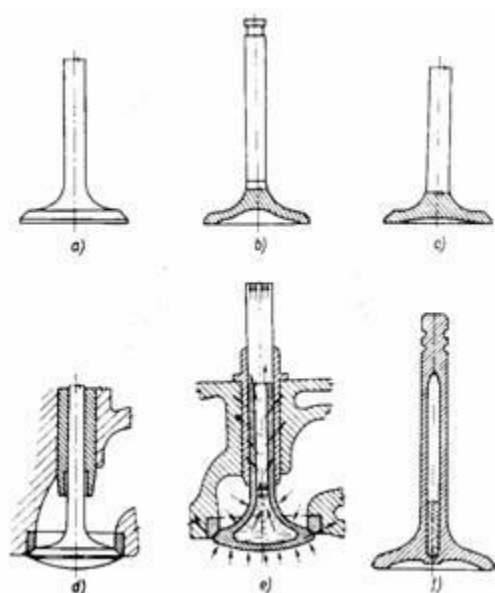
2.1.1 Hlava ventilu

Hlava ventilu má za úkol při kompresi motoru utěsnit ve spalovacím prostoru sací nebo výfukový kanál. Při sání motoru musí naopak co nejméně bránit u zážehového motoru průchodu směsi paliva se vzduchem nebo u vznětového motoru průchodu čistého vzduchu do válce. Při výfuku motoru musí zase co nejméně bránit odchodu spalin z válce ven. Na hlavu ventilu jsou kladeny rozdílné požadavky podle toho, jestli je sací nebo výfuková a také jak je motor výkonově namáhán.

Velice důležitá je tuhost hlavy a dobrý odvod tepla. Hlava ventilu se nesmí teplem příliš deformovat, měnit svůj objem a rozměry. To platí také pro dřík ventilu, který odvádí zbytek tepla, které nebylo odvedeno přes sedlo ventilu nebo sáláním.

Hlava výfukového ventilu má většinou podobný tvar jako hlava ventilu sacího, jenom v místě přechodu do dříku je jiná přechodová část. Průměr hlavy u výfukového ventilu bývá o 10 až 20 % menší než u ventilu sacího, protože teplé výfukové plyny opouštějí válec pod tlakem, zatímco palivová směs nebo vzduch se musí do válce nasávat. Dalším důvodem je přijímání co nejmenšího množství tepla menším povrchem. Menší hlava výfukového ventilu také uvolní místo pro sací ventil, který může být větší.

Pro různé konstrukce motorů se používají odlišné tvary hlav ventilů.



- a) nejčastěji používaný ventil s rovným dnem
- b) tulipánový tvar hlavy
- c) vyztužená hlava ventilu
- d) vypouklá hlava usměrňující proud plynů
- e) ventil plně chlazený sodíkem, ukázka přenosu tepla
- f) částečně chlazený ventil

Obr. 2 - Tvary hlav ventilů

Tulipánový tvar hlavy ventilu se vyznačuje velkou tuhostí, ale má větší povrch a tím přijímá více tepla, které pak podstatně hůře odvádí. U motorů více tepelně namáhaných se někdy používá talíř vypouklý směrem do válce, který lépe usměrňuje proud spalin. Tento typ se vyznačuje tím, že se nad vypouklou částí vytvoří polštář spalin, který chrání sedlo před nadměrným přenosem tepla. I přesto, že u tohoto ventilu je větší plocha hlavy, na jeho zahřívání se to příliš neprojevuje. Nejběžnější tvar hlavy u sacích ventilů je provedení s rovným dnem.

U přeplňovaných zážehových motorů, leteckých a speciálních motorů se převážně používají ventily vnitřně chlazené. Tento ventil je dutý, a to buď jen částečně, kdy je dutina vytvořena pouze v dříku, nebo je dutý celý a to i v hlavě ventilu. V obou případech je ventil naplněn

z 50 – 60 % objemu dutiny sodíkem. Sodík má teplotu tavení 97 °C při tlaku 100 kPa, bod varu 883 °C a odvádí až 10× více tepla než voda.

Při chodu motoru a zahřátí ventilu se sodík změní v kapalinu a při pohybu ventilu se přelévá z hlavy do dříku, a tím odvádí více tepla, než by bylo možné pouhým přenosem materiálem dříku. Takto se teplota hlavy ventilu sníží o 60 – 120 °C. Výroba těchto ventilů je však technologicky náročná a drahá.

Sedlo ventilu je plocha, kterou ventil při zavření dosedá na kroužek sedla ventilu v hlavě válců. Šířka plochy sedla se různí podle zatížení ventilu a podle toho, zda se jedná o sací nebo výfukový ventil. U malých ventilů do motorů osobních automobilů se pohybuje přibližně mezi 1 – 3 mm. Úzká plocha sedla ventilu zlepšuje těsnost, ale zhoršuje odvod tepla a tepelné zatížení styčné plochy. Široká plocha sedla ventilu zhoršuje těsnost a snižuje tlak na jednotku plochy, který je důležitý pro dobrý prostup tepla. Při navrhování a konstrukci je proto nutné najít optimální velikost této plochy vzhledem k velikosti hlavy ventilu. Také správná poloha sedla vzhledem k hlavě je důležitá. Přiléhá-li sedlo příliš k vnějšímu okraji hlavy, je mechanické namáhání ventilu nadměrně vysoké. Pokud leží příliš blízko středu, nedochází k dostatečnému odvodu tepla z vnějších okrajů hlavy.

Úhel sedla ventilu je nejčastěji 45°. Při tomto úhlu je větší tuhost, lepší vedení a středění sedla v hlavě, než u sedla s úhlem 30°, který se někdy používá u sacích ventilů. Úhel se měří mezi sedlem a myšlenou kolmou rovinou ke dříku ventilu.

Sedlo hlavy výfukového ventilu se většinou opatřuje návarem ze slinutého karbidu, nejčastěji se používá Stelit. Navařená vrstva Stelitu má tloušťku 0,7 – 1,5 mm. Příliš silná vrstva může praskat a odlupovat se. Stelit je velice tvrdý a odolný proti otěru a korozi. Navařením stelitové vrstvy se několikanásobně zvyšuje životnost této části ventilu.

2.1.2 Dřík ventilu

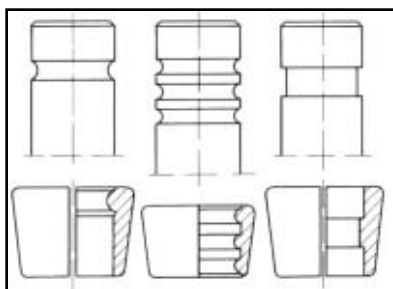
Dřík je vodící částí, která se pohybuje v hlavě motoru a zajišťuje otevírání a zavírání ventilu. Dřík také odvádí teplo přes vodítko z hlavy ventilu do chladicí kapaliny. Musí být odolný proti zadírávání a opotřebení. Na povrch dříku se proto nanáší vrstva chromu, která lépe vyhovuje těmto požadavkům. Vůle ventilu ve vedení má být co nejmenší, a pohybuje se u sacího ventilu 0,3 – 0,6 % a u výfukového ventilu 0,6 – 0,9 % průměru dříku. Čím je vůle ve vodítku větší, tím se hůře odvádí teplo, což má za následek snížení životnosti ventilu.

Velká vůle rovněž zvyšuje množství přisávaného oleje do motoru, který způsobuje horší spalování, tvoření karbonu a zvýšení emisních hodnot.

Přechod mezi hlavou a dříkem ventilu je velice namáhané místo, kde vznikají zhuštěná napětí podporovaná tokem tepla. V tomto místě se ventil nejsnáze přetrhne. Tato část ventilu musí mít pro zabezpečení vysoké životnosti speciální tvar, kdy úhel přechodu z hlavy na dřík je $12^\circ - 15^\circ$ (u vznětových motorů až 25°). Úhel plynule přechází obloukem na spodní část dříku ventilu. Při takto navrženém přechodu se dosáhne uspokojivého obtékání ventilu proudícím plynem, při přijatelné životnosti. Pokud bychom chtěli dosáhnout optimálního obtékání, je potřeba změnit tvar přechodu na ostřejší, ale zároveň nám při této úpravě klesne životnost této části. Tato úprava je vhodná pouze u závodních motorů, kde se po určitých najetých kilometrech motor repasuje.

2.1.3 Drážky ventilu

Drážky na dříku slouží k uchycení ventilu. Do drážky nebo drážek umístěných na konci dříku se vkládají klínky, které drží ventilovou miskou. O miskou se opírá ventilová pružina, která zavírá ventil. Klínky mají opačný tvar než drážky ventilu.



Obr. 3 – Drážky ventilů a klínky

Při použití jedné drážky nebo vybrání, klínky ventil pevně sevrou a neumožňují jeho otáčení za chodu motoru. Někdy je to přínosem pro životnost celého ventilového ústrojí, jindy naopak toto pevné spojení životnost zkracuje. Záleží na konstrukci, použitých materiálech a na spalovaném palivu.

Druhým typem jsou 3 nebo 4 drážky půlkruhového profilu. Klínky mají o něco větší poloměr půlkruhových výstupků, které do drážek zapadnou a umožňují otáčení ventilu. Vyosením ovládacího vahadla od osy dříku se ventil nuceně za chodu motoru pootáčí. Tím dochází k tomu, že se pod místo, kde je největší tepelné zatížení okraje hlavy ventilu stále přesouvá chladnější část hlavy. Nedochozí tak k místnímu přehřátí hlavy ventilu a jeho poškození.

Otáčení ventilu také zlepšuje rovnoměrnost opotřebení jak na sedle, tak na dříku, a lépe se tato místa zbavují nežádoucích usazenin. Nevýhodou volného uložení ventilu je postupné rozklepání okrajů drážek. Ventil po delším provozu nelze jednoduše z vodítka vyjmout.

2.2 Namáhání ventilů

Ventily patří mezi výrazně mechanicky a tepelně namáhané části motoru. Rozměry i tvar celého ventilu musí zůstat při provozních teplotách téměř stejné. Teplo, které ventil absorbuje, musí také dobře odvádět do hlavy válců.

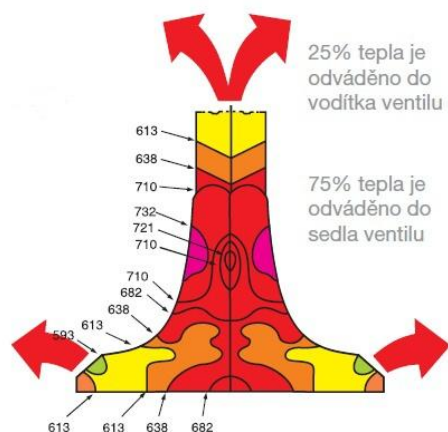
Sací ventil má za provozu teplotu od 300 až 500 °C. U přeplňovaných motorů a motorů s vysokým měrným výkonem může teplota dosáhnout až 600 °C. Za provozu je chlazen nasávanou směsí nebo vzduchem, a proto je jeho teplota nižší než teplota výfukového ventilu.

Výfukový ventil má u zážehového motoru teplotu až 850 °C, u vznětového se teplota pohybuje v rozmezí 600 – 800 °C. Ventily u přeplňovaných motorů dosahují vyšších hodnot z tohoto rozmezí. Překročení hranice 850 °C není prakticky možné, neboť běžný materiál výfukových ventilů při teplotě kolem 880 °C ztrácí svojí pevnost. Při překročení této teploty by mohlo dojít k poškození samotného ventilu, což může následně vést ke zničení celého motoru. Výfukový ventil je menší než sací, přijímá méně tepla menší plochou a také ho lépe odvádí. Teplota ventilů se zvyšuje se zvyšujícím se zatížením motoru, otáčkami motoru, nebo nesprávným předstihem a seřízením zážehu.

Čelo hlavy musí odolávat tlakům až 15 MPa při teplotě spalin dosahujících 1000 °C. Rychlost spalin při otevřeném ventilu „při výfuku“ překračuje i 100 m/s. Proudící spaliny způsobují erozi a korozi za tepla, což se projevuje rychlejším stárnutím materiálu. Sedlová plocha hlavy ventilu musí dokonale těsnit po celou dobu životnosti, a za všech provozních teplot motoru. Pokud se objeví jakákoliv netěsnost, dokáže štěrbinový efekt žhavých spalin časem propálit ventil z jakéhokoliv materiálu.

Dřík ventilu se kluzně pohybuje ve vodítku, a proto musí být odolný proti zadírání a opotřebení. Čelo dříku je vystaveno vysokému namáhání působením vahadel nebo zdvihátek. Tyto části rozvodů působí rázy a narušují povrch tohoto místa. Během jedné sekundy je ventil až padesátkrát otevřen vačkou a následně zavřen ventilovou pružinou. Na ventil působí setrvačné síly a tlak pružiny, což způsobuje dynamické a mechanické zatížení.

Charakteristické rozdělení teplot
výfukového ventilu. Čísla označují °C



Obr. 4 – Rozdělení teplot na výfukovém ventilu

2.3 Materiály ventilů

Při konstrukci ventilu je nejen důležitý tvar a geometrie ventilu, ale také vhodně zvolený materiál. Ventily jsou vysoce namáhanou součástí motoru, jak teplotně, tak mechanicky. Předpokládá se, že vzhledem k životnosti motoru projdou více jak 200 miliony cyklů při vysokých teplotách.

Ventily se vyrábí z jednoho materiálu (monometalické ventily), dvou druhů materiálů spojených svařováním (bimetalické ventily), nebo dvou druhů materiálů, kdy je sedlo nebo i dřík navařen slinutým karbidem (trimetalické ventily). Dalším typem jsou ventily duté, kde dutina uvnitř ventilu je vyplněna kapalinou.

Materiál, z kterého jsou ventily vyrobeny, by měl mít adekvátní odolnost vůči teple, změnám teploty, okujení, rázům, únavě a opotřebení. Měl by také mít vysokou odolnost proti teplotní korozi, odolnost proti usazování částic spalín, především u výfukových ventilů, pevnost a otěruvzdornost.

Takový souhrn, z hlediska materiálu často protichůdných vlastností, podnítil vývoj speciální skupiny ventilových ocelí a Ni slitin. Ventilové oceli jsou obvykle legovány Cr, Si, Mn, N a dalšími prvky, které zlepšují jejich vlastností.

2.3.1 Feriticko – martenzitické ventilové oceli

Tyto oceli jsou standardní materiál pro sací ventily nebo pro dřík výfukových ventilů. Materiál je martenzitická chromová kalitelná ocel s označením 1.4718 a 1.4748 (značení oceli je podle normy DIN a bude používáno v celé bakalářské práci). Vysoký obsah Cr v těchto ocelích vyžaduje kalení z vysokých teplot (cca. 1050 °C) a umožňuje teplotní stabilitu sorbitu (odolnost vůči popouštění) do 600 °C. Po kalení se provádí popouštění na požadovanou pevnost – obvykle při teplotě cca. 680 °C. Ocel 1.4748 díky vysokému obsahu C, a legování Mo a V získává výraznou odolnost a pevnost vůči opotřebení.

2.3.2 Austenitické ventilové oceli

Jak již bylo uvedeno výše, speciální požadavky, jako je vysoká pevnost a odolnost proti korozi je požadována především u výfukových ventilů. Zde se austenitické Cr – Mn oceli ukazují jako dostačující a ekonomicky výhodný materiál. Ocel 1.4871 se dá považovat za klasický materiál pro výfukové ventily. Materiály 1.4882 a 1.4785 obsahují více prvků, jako Nb, Ta, W, Mo, V, které jsou obsaženy v Cr – Mn matici. Tyto prvky podporují tváření jemně rozptýlenými precipitáty v tuhém roztoku a rostoucí pevnost bez negativního vlivu na houževnatost. Tyto oceli jsou obvykle legovány tak vysokým obsahem Mn a N, aby byla zaručena homogenní austenitická matrice při obsahu Cr s dostatečnou korozivzdorností. Obsah Cr však nesmí být příliš vysoký, aby se nezvýšila křehkost oceli. Oceli obsahují kolem 0,5 % C, jsou nemagnetické a mají o polovinu větší tepelnou roztažnost a o třetinu nižší součinitel tepelné vodivosti než martenzitická chromová ocel. Austenitická ocel legovaná Mn, Cr a dalšími prvky, nevykazuje u vysoce namáhaných výfukových ventilů vždy dostatečnou odolnost proti korozi, únavě a erozi rychle proudících spalin v sedlové ploše. Proto, jak již bylo zmíněno, se pro zvýšení odolnosti sedlová plocha výfukových ventilů opatřuje vysokouhlíkovými návary, obvykle na bázi Co a karbidů W a Cr, označovanými Stelit.

2.3.3 Ventilové oceli s vysokým obsahem niklu

Pokud běžné Cr – Mn oceli pro danou aplikaci nedostačují, je nutno použít materiál s vyšším obsahem niklu. Vysokou odolnost vůči tečení získávají oceli vytvrzením intermetalickými sloučeninami s Nb, Ta, Ti, Al. Označení těchto ocelí je 2.4952 (Nimonic 80A) a 2.4955. Oceli se používají tam, kde je zapotřebí maximální provozní spolehlivosti a také u aplikací, kde je potřeba zabránit prasknutí nebo poškození ventilu vlivem nedostatečné korozní odolnosti. Typickými příklady jsou motory závodních aut, přeplňované dieselové motory, nebo letecké motory.

Přehled ocelí pro výrobu ventilů a jejich chemické složení je uveden v tabulce č. 1.

Tab. 1 – chemické složení ventilových ocelí

Označení	Martenzitické oceli		Austenitické oceli			
DIN 17007	1.4718	1.4748	1.4871	1.4882	1.4785	2.4952
DIN 17006	X45CrSi 93	X85CrMo V182	X53CrMn NiN 21 9	X50CrMn NiNbN	X60CrMn MoVNbN	NiCr20 TiAl
ČSN	17 115		17 465			
C	0,4 – 0,5	0,8 – 0,9	0,48 – 0,58	0,45 – 0,55	0,58 – 0,65	Max.. 0,1
Si	2,7 – 3,3	max. 1,0	max. 0,25	max. 0,45	max. 0,25	max. 1,0
Mn	max. 0,8	max. 1,45	8,0 – 10,0	8,0 – 10,0	9,5 – 11,5	max. 1,0
Cr	8,0 – 10,0	16,5 – 18,5	20,0 – 22,0	20,0 – 22,0	20,0 – 22,0	18,0 – 21,0
Ni	max. 0,5	max. 0,5	3,25 – 4,5	3,5 – 5,0	max. 1,5	zbytek
Mo	-	2,0 – 2,5	-	-	0,75 – 1,25	-
W	-	-	-	0,8 – 1,5	-	-
V	-	0,25 – 0,35	-	-	0,75 – 1,0	-
Co	-	-	-	-	-	max. 2,0
Al		-	-	-	-	1,0 - 1,8
Ti	-	-	-	-	-	1,8 – 2,7
Nb	-	-	-	1,8 – 2,5	1,0 – 1,2	-
N	-	-	0,38 – 0,50	0,40 – 0,60	0,40 – 0,60	-
S	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,015
P	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,02
Fe	zbytek	zbytek	zbytek	zbytek	zbytek	Max. 3,0

V tabulce č. 2. je uveden přehled, označení a chemické složení materiálů pro navařování sedel ventilů.

Tab. 2 – chemické složení mat. na navařování sedel ventilů

Označení	P37	P37S	P82	P39S	P25
Navařování	oblouk, plamen	plazma	plazma	plazma	plazma
Střední složení % C	1,75	1,75	2,00	0,86	0,56
Si	1,1	1,1	max. 0,5	max. 0,4	Max. 0,4
Mn	max. 0,3	max. 0,3	max. 0,5	10,0	10,0
Cr	25,5	28,0	26,0	27,0	25,0
Ni	22,5	22,5	zbytek	12,0	10,0
Co	zbytek	zbytek	max. 0,3		
W	12,25	12,25			
Fe	max. 1,35	max. 1,35	max. 4,0	zbytek	zbytek
Mo	-	-	-	5,5	3,0
Nb-Ta	-	-	-	2,5	2,0
Tvrдость HRC	min. 40	min. 40	min. 32	min. 39	min. 32
ρ [kg/m ³]	8500	8500	9100	7900	7900
α [1/K] 20 – 800 °C	$13,9 \times 10^6$	$13,9 \times 10^6$	$14,8 \times 10^6$	$17,2 \times 10^6$	$17,3 \times 10^6$

2.3.4 Speciální materiály

Požadavky kladené na materiály ventilů se stále zvyšují. Zavedením emisních limitů pro výfukové zplodiny jsou konstruktéři nuceni snižovat směšovací poměr paliva a vzduchu. Výsledkem je zvýšení spalovací teploty a zejména pak výfukové ventily jsou stále více vystaveny vlivům těchto teplot a agresivitě výfukových plynů. Také rozměry ventilů se neustále zmenšují. Proto se hledají nové materiály, které by lépe obstály v těchto náročných podmínkách.

Jednou z možností je použití práškové metalurgie pro výrobu ocelí a ventilů. Tyto ventily jsou sice drahé, ale tato metoda umožňuje vytvořit materiál s netradičním složením a obsahem jednotlivých prvků.

Za další speciální materiály na výrobu ventilů, je možno považovat slitiny titanu. Ventily z těchto slitin jsou lehčí než ocelové, působí na ně menší setrvačné síly, a jsou převážně používány u vysokootáčkových motorů. Slitiny titanu mají nízkou tepelnou odolnost a vodivost, proto je u ventilů nutné použít konstrukci, která umožňuje jejich dostatečné chlazení (např. duté ventily).

Další ze speciálních materiálů je keramika. Keramické materiály vykazují kombinaci velice výhodných vlastností, např. malá tepelná roztažnost, dobrá odolnost proti korozi a vysoké teplotě. Tyto materiály mají proto velký potenciál při použití ve spalovacích motorech. Ventily vyrobeny ze slinutého nitridu křemíku (obr. 5.) jsou až o 60 % lehčí než ocelové, lépe těsní při velké zátěži, což přináší úspory paliva, snížení emisí a hluku. Výroba ventilů z keramických materiálů je velice nákladná, technologicky složitá a stále je ve fázi testování.



Obr. 5 – ventil vyrobený z nitridu křemíku

2.4 Povrchové úpravy ventilů

Pro zvýšení odolnosti proti narušování povrchu ventilu, se dřík nebo celý ventil opatřuje tvrdou povrchovou vrstvou, která lépe odolává již zmíněnému opotřebení.

2.4.1 Galvanické chromování

Tvrdé chromování je fyzikálně – chemický proces, který vytváří na součástech slabou vrstvu chromu. Je založen na principu elektrolýzy, kdy rozpustná anoda uvolňuje kladné ionty kovu do roztoku, které se vylučují na katodě jako čistý kov. Při průběhu galvanického chromování platí Faradayův zákon.

$$M = A_e \cdot I \cdot t$$

Množství vyloučeného kovu **M** je přímo úměrné elektrochemickému ekvivalentu **A_e**, proudu **I** a času **t**.

Tato technologie je používána již několik desetiletí. Vyloučené chromové povlaky mají výjimečné chemické a fyzikální vlastnosti. Především je to vysoká odolnost proti korozi, a to jak za normálních, tak zvýšených teplot, značná tvrdost s malým součinitelem tření a odolnost proti mechanickému opotřebení.

Pro chromování je lázeň tvořena 200 – 300 g/l oxidem chromovým, 2 ml/l katalyzátorem HEEF 25 a 3,5 g/l kyselinou sírovou. Zbytek lázně tvoří demineralizovaná voda. Pracovní teplota lázně je 25 až 65 °C, hustota proudu je 20 až 100 A/dm².

Tloušťka chromované vrstvy se pohybuje mezi 0,015 – 0,025 mm. Tato úprava povrchu se používá pouze na část dříku, který se kluzně pohybuje ve vodítku. Pro snížení drsnosti povrchu se po chromování dřík leští.

Tvrdé chromování má jak řadu výhod, (např. poměrně nízké pořizovací náklady) tak i nevýhod. K největším nevýhodám patří neekologičnost a nebezpečnost celého procesu. V průběhu chromování se vyskytují sloučeniny obsahující šestimocný chrom. Ačkoli kovový chrom a trojmocné chromové sloučeniny nejsou toxické, šestimocné sloučeniny chromu jsou velmi nebezpečné. Tyto sloučeniny patří mezi látky s nejvyšším potenciálem ke způsobení rakovinových onemocnění. Proto příprava a celý proces vyžaduje používání vysokého stupně ochrany pracovníků.

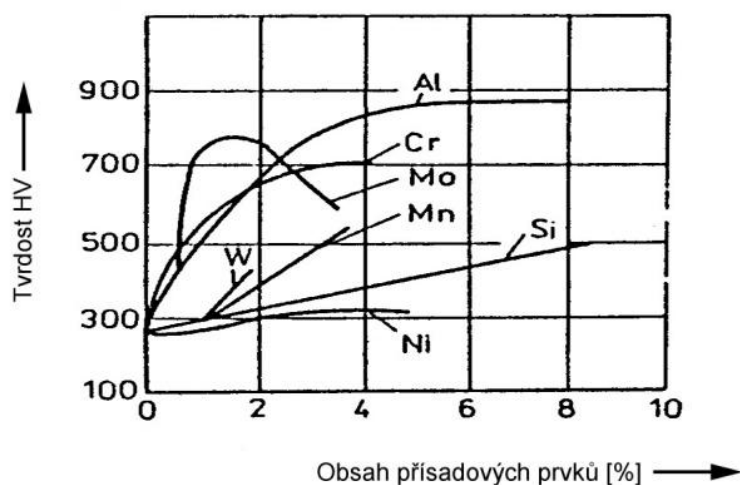
2.4.2 Nitridace

Další z možností jak zlepšit vlastnosti povrchu ventilů je nitridace. Nitridace se používá na celý ventil. Části ventilu vyžadující dodržení přesných rozměrů a nízké drsnosti se po nitridaci následně brousí nebo leští. Tento způsob povrchové úpravy stále více nahrazuje chromování, neboť je ekologičtější a v mnoha případech i levnější.

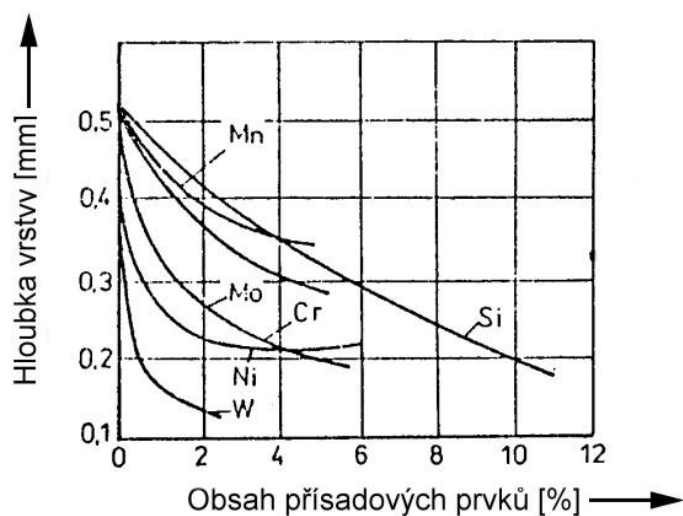
Při porovnání, s dříve obvyklým chromováním, se mohou výrobní náklady na výrobu ventilů snížit, protože se může vynechat indukční kalení. Dřík výfukového ventilu se nemusí vyrábět z martenzitické oceli pro indukční kalení. Celý ventil je možné vyrábět z žáruvzdorné austenitické oceli. Krátké časy zpracování (nitridace v solných lázních), též urychlují celý výrobní proces a snižují náklady.

Nitridace je chemicko – tepelný proces, který za pomoci difúze, vytváří povrchovou vrstvu lišící se od jádra materiálu chemickým složením a mechanickými vlastnostmi. Je to proces sycení povrchu ocelového (možno i litinového) předmětu dusíkem v plynném nebo kapalném prostředí při teplotě pod A_{c1} (obvykle v rozsahu teplot 470 až 600 °C). Nasycená vrstva má vysokou tvrdost a odolnost proti otěru, a to i za vyšších teplot, zvýšenou mez únavy a snížený koeficient tření. Na výsledné vlastnosti povrchové vrstvy má vliv chemické složení oceli. Mezi legující prvky nejvíce ovlivňující zvýšení tvrdosti nitridované vrstvy patří hliník a chrom. Při dostatečném množství také titan, tantal vanad a niob. Nikl je prvek, který naopak tvrdost snižuje a zároveň s přidavkem molybdenu vytváří houževnatější nitridační vrstvu a zlepšuje pevnost oceli. Společná nevýhoda těchto prvků spočívá ve zpomalování difúze dusíku, a proto čas potřebný k dosažení určité nitridační vrstvy je delší. Obsah uhlíku v oceli má na proces nitridace také významný vliv. Při malém množství obsahu uhlíku v oceli se tvoří silná a křehká nitridační vrstva, která se při zatížení drolí a bortí. Oceli s vysokým obsahem uhlíku kladou přítomností cementitu odpor vůči difuzi dusíku, a tak dosáhnout požadované vrstvy je časově náročnější.

Vliv obsahu legujících prvků na povrchovou tvrdost nitridační vrstvy je graficky znázorněn na obr. 6. a na obr. 7. je zobrazen vliv přísadových prvků na hloubku nitridační vrstvy.



Obr. 6 – vliv obsahu legujících prvků na povrchovou tvrdost nitridační vrstvy
[převzato z přednášek: Tepelné zpracování a slinování, Ing.V. Kraus,CSc.]



Obr. 7 – vliv obsahu přísadových prvků na tloušťku nitridační vrstvy
[převzato z přednášek: Tepelné zpracování a slinování, Ing.V. Kraus,CSc.]

K dosažení optimálních vlastností jádra a vytvrzené vrstvy se výrobky před vlastní nitridací zušlechťují. Popouštěcí teplota při zušlechťování musí být vyšší než teplota nitridační.

Při nitridaci dochází k malé změně objemu za současného zvýšení meze únavy. Rozměry po nitridaci se zvětšují, a to v rozsahu cca od 0,01 do 0,08 mm v závislosti na tloušťce nitridované vrstvy, druhu materiálu a času nitridace.

Způsoby nitridace:

Nitridace v plynném prostředí

Plynné prostředí je tvořeno atmosférou technicky čistého čpavku nebo čpavku s dusíkem. Pro ovlivnění nitridačního potenciálu jsou do atmosféry přimíchávány další plyny (H_2 , O_2 , Ar). Při této metodě, která je dosti časově náročná, se dosahuje nitridační vrstvy od 0,1 do 0,5 mm. Při vlastní nitridaci jsou suché a odmaštěné výrobky do pece umístěny tak, aby byl umožněn vhodný přístup aktivní nitridační atmosféry. Pak se pecní prostor plynotěsně uzavře a propláchne plynným čpavkem. Pec se vytopí na požadovanou nitridační teplotu, nejčastěji 500 – 560 °C. Nitridační doba je u tohoto způsobu velmi dlouhá, kdy dosažení hloubky 0,4 mm trvá přibližně 48 hodin. Po skončení nitridace se vsázka nechá volně chladnout v peci za stálého přívodu čpavku až do teploty 200 °C. Výrobky se z pece vyndávají až po úplném zchladnutí.

Nitridace v solných lázních

Provádí se v kyanidových solích, které se působením vzdušného kyslíku, eventuálně samovolné oxidace rozkládají a uvolňují atomární dusík. Nitridace probíhá při teplotách 520 – 770 °C, po dobu 30 až 120 minut, kdy se dosahuje tenčích nitridačních vrstev. Výhodou této metody jsou výrazně kratší doby nitridování.

Nitridace v prášku

Nitridační plyn se vytváří uvnitř žáruvzdorné krabice při teplotě kolem 560 °C z nitridačního prášku a přídavného aktivátoru. Nitridace v prášku je vhodná především při malém počtu kusů s proměnlivými požadavky na tvorbu nitridované vrstvy. Velkou výhodou metody je malá investiční náročnost, rychlost a dostupnost. Pro nitridace stačí jakákoliv komorová pec s rovnoměrným rozložením teploty, žáruvzdorná krabice, prášek a aktivátor.

Iontová (plazmová) nitridace

Iontová nitridace probíhá ve vakuové peci, kde jsou nitridované součásti zapojeny jako katoda a plášť pece jako anoda. V peci se udržuje snížený tlak zředěné směsi plynů, zpravidla dusíku a vodíku. Na katodu a anodu je přiveden stejnosměrný proud o napětí 400 až 1000 V. V poli tak dochází k pohybu molekul, jejich srážkám a následně ke štěpení a ionizaci. Kladné ionty dusíku jsou pak urychlovány na povrch nitridovaných výrobků. Předností této metody je rychlejší kinetika růstu nitridované vrstvy a velká variabilita nastavitelných parametrů nitridace.

Za nevýhodu je možno považovat, že proces musí probíhat ve sníženém tlaku, což znamená nutnost odsávání a zajištění těsnosti a udržování tlaku v peci. To přináší vysoké náklady na celé zařízení.

2.4.3 Karbonitridace

Proces je analogický nitridaci a provádí se v plynném, kapalném nebo pevném prostředí. Při tomto procesu dochází k sycení povrchu součásti uhlíkem a dusíkem při teplotách nižších než teplota A_{c1} (obvykle v rozsahu teplot 560 až 620 °C). Cílem procesu je vytvoření tvrdé povrchové vrstvy o tloušťce 0,01 až 0,05 mm, která zvyšuje odolnost proti korozi a opotřebení. Předností tohoto způsobu je vysoká efektivnost a velmi malé deformace výrobků. Případný nárůst rozměrů je nižší než u nitridace (řádově 0,01 mm).

2.5 Přehled výroby ventilů v TRW – DAS a. s. Dačice

2.5.1 TRW

Závod TRW – DAS a. s. Dačice je součástí skupiny závodů TRW Automotive, která je jedním z předních světových dodavatelů komponentů pro automobilový průmysl. Společnost TRW – DAS a. s. je výrobcem podvozkových dílů (vnějších, axiálních, dutých a kolových kloubů, ramen) a sacích a výfukových ventilů pro osobní i nákladní automobily. Výrobou ventilů se TRW – DAS a. s. zabývá přes 20 let, a současná produkce se pohybuje kolem 12 milionů ventilů ročně.

2.5.2 Proces výroby ventilů

Z hlediska výroby, se u sacích a výfukových ventilů při některých operacích používají rozdílné technologické postupy.

Sací ventily se vyrábí převážně z jednoho materiálu, a tím je martenzitická ocel 1.4718 umožňující provést zakalení namáhaných částí ventilu jako je čelo a konec dříku a v některých případech i sedlo ventilu. Obecně jsou tyto ventily méně náročné na technologické operace při výrobě než výfukové.

Výfukové ventily se obvykle vyrábí kombinací dvou materiálů, kde je na dřík použita martenzitická ocel 1.4718 a na hlavu ventilu austenitická ocel 1.4871, 1.4785 nebo 1.4882. V oblasti sedla bývají navařovány stelitovým práškem (P25, P28, P37).

Stejně tak, jako jsou rozdíly při výrobě sacích a výfukových ventilů, tak jsou rozdíly při výrobě i mezi jednotlivými druhy sacích a výfukových ventilů. Zde uvedený přehled, je jen typický modelový postup pro výrobu ventilu.

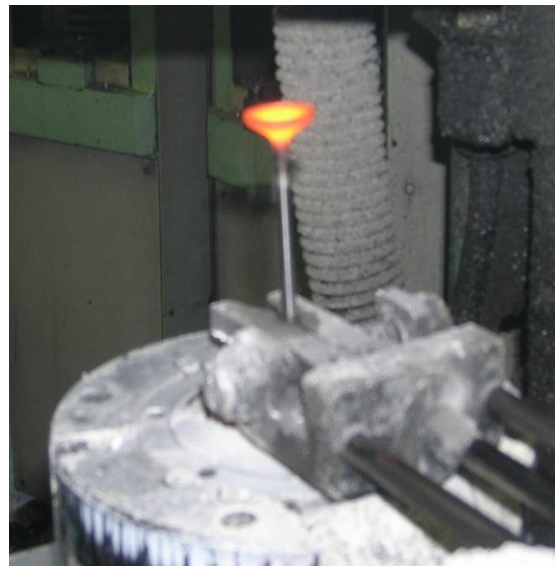
Výroba polotovaru

Z hlediska vlastní technologie výroby lze rozlišit dva základní postupy získání polotovaru pro další obráběcí a dokončovací operace. Jedná se o kování (pěchování) obr. 8., obr. 9. a protlačování ventilu. Teplota při těchto operacích je 1100 – 1200 °C. V případě monometalického ventilu, získáme po těchto operacích již celý polotovar ventilu. Při výrobě bimetalického ventilu kováním jsou nejprve oba materiály svařeny třením a následně vykována hlava ventilu. Při výrobě protlačováním je nejdříve protlačena hlava, provedeno tepelné zpracování a zaříznutí na požadovanou délku, a následně je přivařen dřík ventilu.

Vstupním polotovarem pro operaci protlačování je ustřižený špalík a pro operaci kování tyčka.



*Obr. 8 – napěchovaná tyčka v zápustce
[převzato z materiálů firmy TRW – DAS a.s.]*



Obr. 9 – vykovaná hlava ventilu

Soustružení

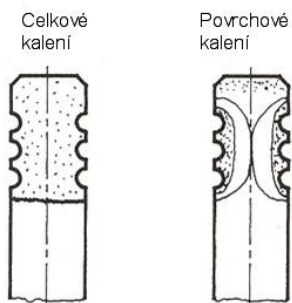
Některé části ventilu (převážně sacího) jsou soustruženy na požadovaný tvar nebo jsou soustružením odstraněny hrubé nerovnosti po kování a protlačování před broušením.

Broušení

Při výrobě ventilů jsou velmi důležité operace broušení, a to jak broušení klasické (keramické kotouče + orovnávání diamantem, případně kladkou), tak broušení pomocí vysokorychlostního CBN kotouče. Pro opracování dříku se používá bezhroté broušení keramickými kotouči, kdy ventil není upnutý klasickým způsobem, ale je podepřen podpěrným pravítkem a přidržován podávacím kotoučem. Při broušení hlavy je ventil upnut v kleštině, a CBN nebo keramickým kotoučem se obrousí hlava na požadovaný tvar a rozměry.

Indukční kalení konce dříku

Konec dříku je vystaven velkému zatížení od rozvodového ústrojí. Pro zvýšení jeho odolnosti se v tomto místě provádí indukční kalení povrchové nebo celkové obr. 10.



Obr. 10 – celkové a povrchové kalení dříku ventilu

Povrchové kalení dříku probíhá za rotace ventilu. K prokalení celého dříku není rotace potřeba. Teploty pro oba typy kalení se pohybují mezi 1000 – 1100 °C (mat. 1.4718).

Plazmový návar stelitového prášku

Kvalitní výfukové ventily jsou dnes pro zvýšení odolnosti proti opotřebení a lepšímu těsnicímu účinku sedla v této oblasti navařovány stelitem. Do předem připravené drážky se za pomoci plazmového oblouku (ionizovaný plyn) nanese roztavený stelitový prášek. Ihned po návaru se provádí zahřátí hlavy ventilu z důvodu rovnoměrného chladnutí. Zahřátí snižuje vnitřní pnutí v navařené části sedla a v hlavě ventilu, způsobené rozdílnými teplotami v okolí návaru. Navařování je velice citlivá operace, a proto je nutná důkladná kontrola kvality návaru. Kontrola se provádí pomocí ultrazvuku, což je nedestruktivní metoda umožňující provádět kontrolu na kusech, které budou dále obráběny a odeslány zákazníkovi. Tímto způsobem lze zjistit vnitřní vady a nespojení návaru se základním materiálem.

Povrchové úpravy dříku ventilu

Některé ventily mají dřík pouze broušen a leštěn. V závislosti na požadavcích zákazníka se provádí chromování dříku nebo v poslední době stále více nitridování celého ventilu.

Konečná kontrola

Vyrobené ventily se kontrolují jak rozměrově, tak vizuálně na přítomnost rýh, nedostatku materiálu a dalších vad. Dále se vířivými proudy kontrolují případné trhliny, a za pomoci tzv. magnatestu se kontroluje, zda je zakalen dřík ventilu. Nejen tato konečná kontrola, ale celý systém kontroly kvality v průběhu celého výrobního procesu zajišťuje dodávky ventilů zákazníkům v nejvyšší kvalitě.

3. Praktická část

Cílem praktické části této práce bylo najít optimální čas nitridace, při kterém dojde k vytvoření požadované hloubky nitridované vrstvy na povrchu ventilu. Tato vrstva musí také současně dosahovat předepsané tvrdosti. Dále bylo zjišťováno, jaký vliv má nitridace na změnu rozměrů přesněji vyrobených částí ventilu. Tyto zkoušky byly prováděny na monometalických ventilech vyrobených z austenitické oceli 1.4882 a martenzitické oceli 1.4718.

3.1 Vliv času nitridace na hloubku nitridační vrstvy

3.1.1 Vzorky ventilů

Ventily pro nitridaci byly vyrobeny metodou protlačování z materiálů 1.4718 a 1.4882, tepelně upraveny a opracovány na konečné rozměry.

Martenzitický materiál 1.4718 byl zakalen z teploty 1030 °C v olejové lázni a popuštěn z teploty 670 °C.

U austenitického materiálu 1.4882 bylo provedeno rozpouštění při teplotě 1140 °C a vytvrzování z teploty 760 °C.

3.1.2 Chemicko - tepelné zpracování

Pro ventily byla použita nitridace s obchodním označením „ARCOR V“, kterou realizovala firma Katring plus s.r.o.. Technologie ARCOR je kombinací carbonitridace, která se provádí v tavenině solí alkalických kovů při teplotě 590 °C, používající síru S^{+2} jako katalyzátor a oxidace v solné lázni OXYNIT za teploty 430 °C.

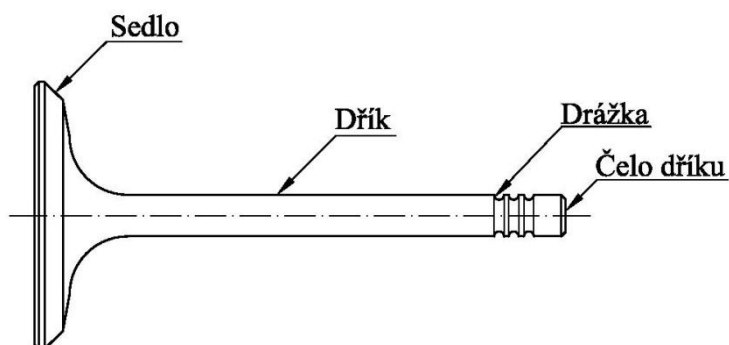
Proces začíná bezprostředně po ponoření dílů do kapaliny, kdy se již po několika minutách ukazuje kompaktní sloučeninová vrstva. Solné taveniny poskytují ve srovnání s jinými provozními médii vysokou nabídku dusíku a proces trvá 20 až 120 minut. Při této technologii chemicko – tepelného zušlechťení si součásti zachovávají původní rozměry (tolerance několik mikronů), původní drsnost povrchu a získávají černou barvu.

Postup a parametry technologie ARCOR:

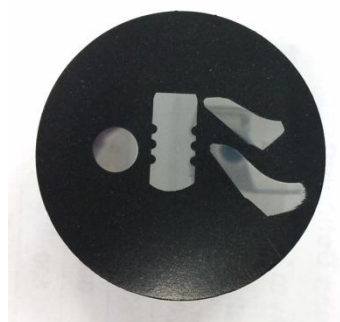
1. Čištění, odmaštění 60 – 80 °C
2. Opláchnutí vodou
3. Předehřívání max. 350 °C
4. Carbonitridace v solné lázni při teplotě 590 °C
5. Technologie OXYNIT 430 °C, čas 10 min.
5. Chlazení vodou ponorem
6. Opláchnutí teplou vodou 80 °C
7. Kondicionování a sušení

3.1.3 Měření

Na jednotlivých ventilech byla měřena hloubka nitridované vrstvy a také bylo ověřováno, zda je dodržena tvrdost této vrstvy v předepsané hloubce. Měření bylo prováděno na metalografických vzorcích. Vzorky byly odebrány ze čtyř částí ventilu a to sedla, dříku, drážek a čela dříku. Z každého času nitridace bylo takto připraveno, a poté změřeno 5 kusů ventilu. Na obrázku č. 11. jsou znázorněny čtyři měřené části ventilu a na obrázku č. 12. je metalografický výbrus, kde jsou vidět řezy jednotlivých částí ventilu.



Obr. 11 – měřené části ventilu



Obr. 12 – zalisování částí ventilu

Příprava metalografických vzorků se skládala z rozřezání, zalisování, broušení a leštění. Vyvolání mikrostruktury se provádělo leptáním 8 % Nitalem.

Hloubka nitridované vrstvy byla měřená na optickém mikroskopu Olympus PME 3 při celkovém zvětšení 500× a mikrotvrdost, měřená podle Vickerse při nízkém zatížení HV 0,025, na mikrotvrdoměru FUTURE-TECH FM - 700.

Nitridační vrstva se skládá ze dvou částí:

- z povrchové sloučeninové vrstvy nitridů nazývané také bílá vrstva, která je zcela na povrchu materiálu. Na metalografickém výbrusu u legovaných materiálů nitridovaných v solné lázni je velmi výrazná a zřetelně odlišná od difúzní vrstvy. Její tloušťka bývá 0,002 – 0,004 mm.
- z difúzní vrstvy, která vyplňuje oblast mezi bílou vrstvou a vlastní strukturou materiálu výrobku. Tvrdost difúzní vrstvy je nižší než tvrdost bílé vrstvy a klesá směrem k jádru. Hloubka a tvrdost této vrstvy jsou převážně určeny základním materiálem. Čím vyšší je obsah slitinových prvků v oceli, tím nižší je hloubka průniku dusíku při stejné době zpracování. Na druhé straně se zvyšujícím se obsahem slitinových prvků úměrně roste tvrdost.

Předepsaná nitridovaná vrstva pro oba materiály je minimálně 0,01mm. Je to hloubka difúzní vrstvy, která je měřená kolmo k povrchu materiálu.

Předepsaná minimální tvrdost u mat. 1.4718 je 500 HV 0,025 a u materiálu 1.4882 je 650 HV 0,025 v hloubce 0,01 mm pod povrchem.

3.1.4 Naměřené hodnoty

Nitridace byla prováděná při teplotě 590 °C a počet nitridovaných ventilů v lázni se pohyboval kolem 100 kusů.

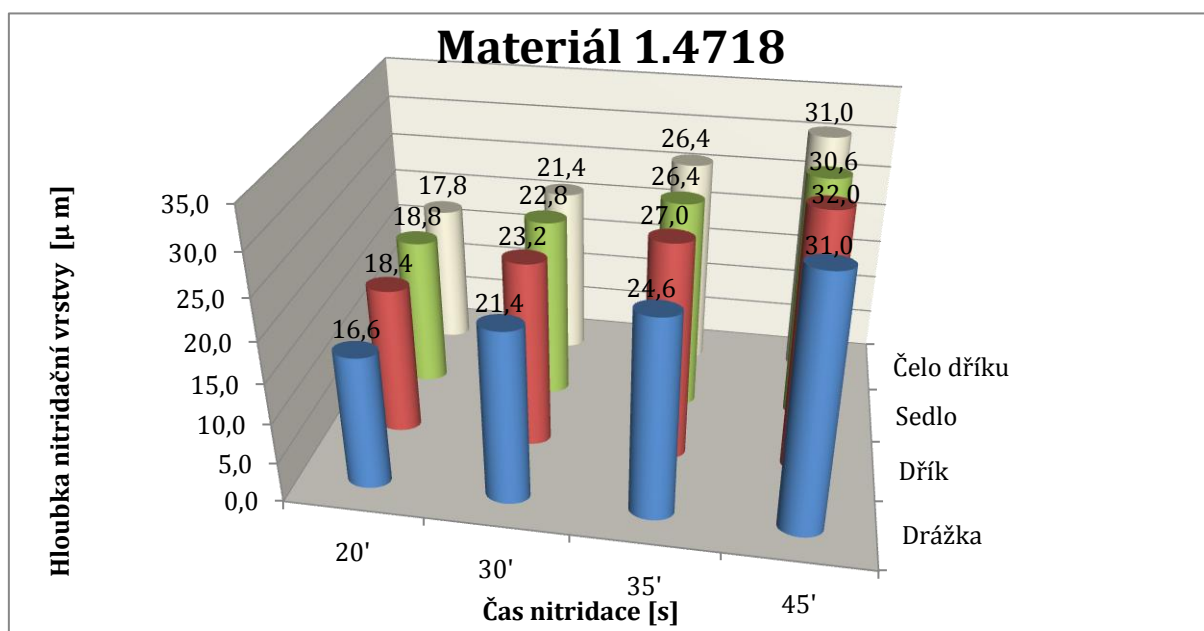
Materiál 1.4817

Pro nitridaci byly zvoleny časy 20, 30, 35 a 45 minut. V tabulce 3. jsou uvedeny průměrné hloubky nitridační vrstvy vypočítané z pěti měřených kusů, pro jednotlivé časy a části ventilu. Dále je v tabulce uvedena směrodatná odchylka těchto naměřených hodnot. Na vzorcích byla naměřená tvrdost v hloubce 0,01 mm pohybující se v rozmezí hodnot 950 – 1140 HV 0,025. V tomto rozmezí tvrdosti jsou zahrnuty všechny časy nitridace.

Tab. 3 – průměrné hloubky nitridace u jednotlivých časů a částí ventilů

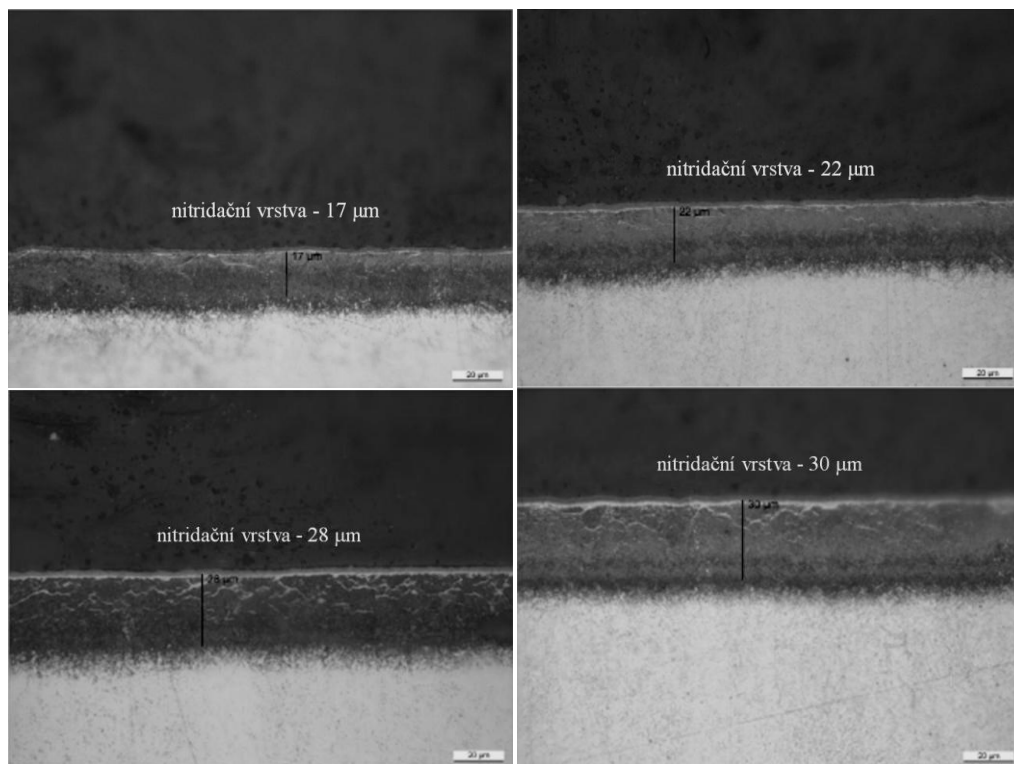
Materiál 1.4718				
Čas [min.]	Drážka [μm]	Dřík [μm]	Sedlo [μm]	Čelo dříku [μm]
20'	16,6 ± 0,8	18,4 ± 0,5	18,8 ± 0,4	17,8 ± 1,0
30'	21,4 ± 1,5	23,2 ± 0,4	22,8 ± 0,4	21,4 ± 0,5
35'	24,6 ± 1,4	27,0 ± 0,6	26,4 ± 0,5	26,4 ± 0,5
45'	31,0 ± 0,9	32,0 ± 0,9	30,6 ± 0,5	31,0 ± 0,9

V grafu 1. je znázorněna vzájemná závislost času nitridace na hloubce nitridované vrstvy.



Graf. 1 – závislost hloubky nitridované vrstvy na čase u jednotlivých částí ventilu

Na obr. 13. jsou snímky z optického mikroskopu (materiálu 1.4817) s vyznačenou hloubkou nitridované vrstvy. Nitridovaná vrstva má tmavý odstín, a tím se liší od světlejšího základního materiálu. Na snímcích je také dobře viditelná slabá bílá povrchová vrstva.



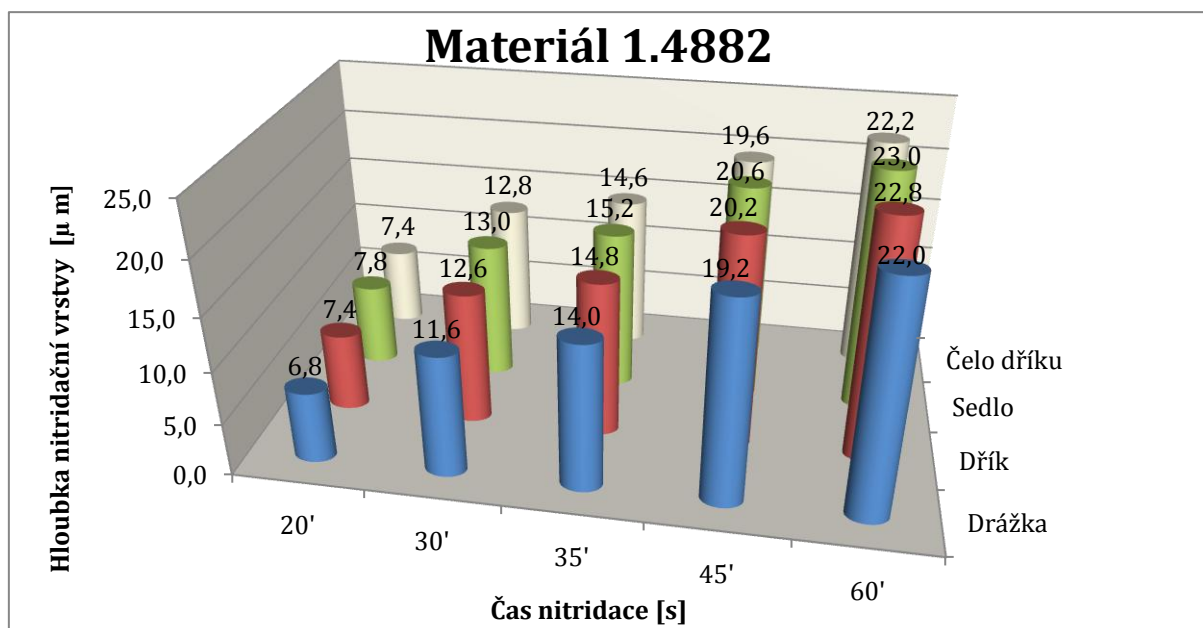
Obr. 13 – ukázky metalografického výbrusu hloubky nitridační vrstvy pro různé časy u materiálu 1.4718, zvětšeno 500×

Materiál 1.4882

Pro nitridaci tohoto materiálu byly zvoleny časy 20, 30, 35, 45 a 60 minut. Průměrné hodnoty hloubky nitridační vrstvy a směrodatná odchylka jsou uvedeny v tab. 4. V grafu 2. je znázorněna vzájemná závislost času nitridace na hloubce nitridované vrstvy. Na vzorcích byla měřená tvrdost v hloubce 0,01 mm, která dosahovala hodnot pohybující se v rozpětí 1150 – 1650 HV 0,025. V tomto rozpětí tvrdosti jsou opět zahrnuty všechny časy nitridace.

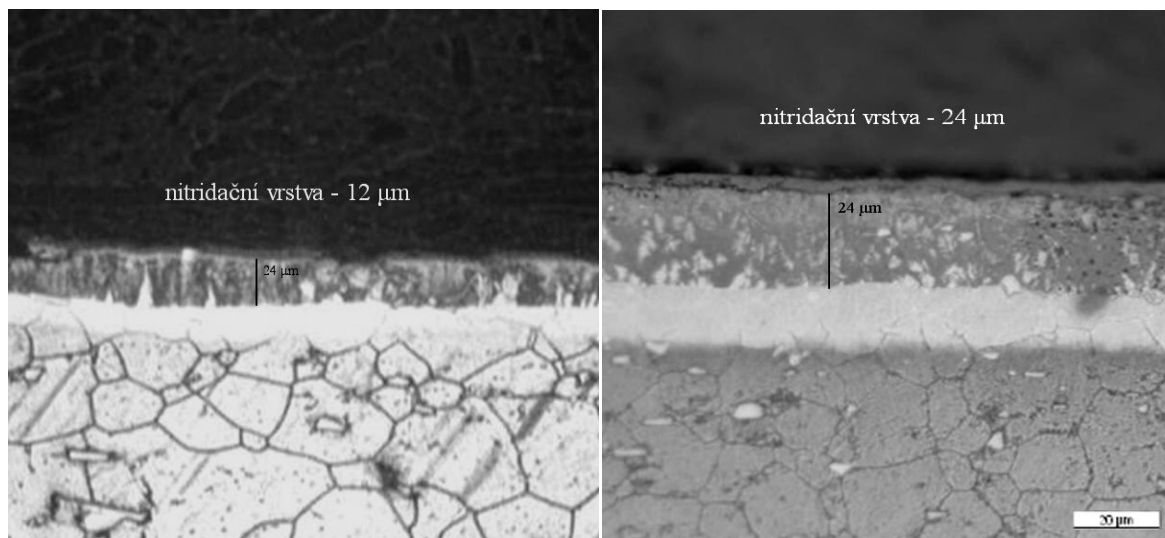
Tab. 4 – průměrné hloubky nitridace u jednotlivých časů a částí ventilů

Materiál 1.4882				
Čas [min.]	Drážka [μm]	Dřík [μm]	Sedlo [μm]	Čelo dříku [μm]
20'	$6,8 \pm 0,7$	$7,4 \pm 0,8$	$7,8 \pm 0,7$	$7,4 \pm 1,0$
30'	$11,6 \pm 1,0$	$12,6 \pm 1,0$	$13,0 \pm 1,4$	$12,8 \pm 1,2$
35'	$14,0 \pm 0,9$	$14,8 \pm 0,7$	$15,2 \pm 1,2$	$14,6 \pm 0,8$
45'	$19,2 \pm 1,2$	$20,2 \pm 1,2$	$20,6 \pm 1,4$	$19,6 \pm 1,0$
60'	$22,0 \pm 0,9$	$22,8 \pm 0,7$	$23,0 \pm 0,9$	$22,2 \pm 1,2$



Graf. 2 – závislost hloubky nitridované vrstvy na čase u jednotlivých částí ventilu

Na obr. 14. jsou ukázky z optického mikroskopu (materiál 1.4882), kde je vyznačená hloubka nitridované vrstvy. U tohoto materiálu se tvrdá bílá vrstva nevyskytuje.



Obr. 14 – ukázky metalografického výbrusu hloubky nitridační vrstvy pro různé časy u materiálu 1.4882, zvětšeno 500×

3.1.5 Diskuse výsledků

Materiál 1.4817 byl nitridován při teplotě 590 °C a čase 20 – 45 min. Hloubka nitridované vrstvy se pohybuje od 16,6 do 32 μm. S prodlužujícím se časem, roste hloubka nitridační vrstvy přibližně lineárně. V oblasti drážky je většinou nitridační vrstva slabší, než u ostatních částí ventilu a to o 1 – 2 μm. I při nejkratším čase 20 min. je hloubka nitridované vrstvy dostačující a splňuje ve všech zkoumaných místech předepsanou hloubku 10 μm. Vzhledem k tomu, že po nitridaci bude dřík ventilu leštěn, a průměr v této části zmenšen o 2 – 6 μm, je možno za optimální čas nitridace považovat čas mezi 25 – 30 minutami a hloubce vrstvy mezi 18 – 23 μm. Tento čas zaručuje, že bude dodržena předepsaná minimální hloubka vrstvy, i při nepatrných odchylkách hloubky jednotlivých částí ventilů, a dává dostatečnou rezervu pro nepravidelnosti způsobené nestejným procesem nitridace.

U materiálu 1.4882 při nitridační teplotě 590 °C probíhá růst vrstvy výrazně pomaleji, kdy v časech od 20 do 60 minut byla dosažená vrstva mezi 6,8 – 23 μm. Rychlost růstu nitridované vrstvy se s přibývajícím časem zpomaluje. Rozdíl hloubky vrstvy mezi časem 45 min. a časem 60 min. jsou pouhé 3 μm. Rozdíly hloubky mezi jednotlivými částmi ventilu jsou, při stejném čase menší, než u předchozího materiálu. Při nitridaci v čase delším, jak 45 min. je dosaženo tvrdosti 1450 – 1650 HV 0,025 v hloubce 0,01 mm pod povrchem.

Takto vysoká tvrdost zvyšuje nebezpečí odlupování nitridované vrstvy a možnost vzniku prasklin.

Za optimální čas nitridace s přihlédnutím k dostatečné rezervě, jako u předchozího materiálu, lze považovat čas 40 – 45 min., kdy je dosažená hloubka nitridační vrstvy 16 – 20 μm .

Požadovaná minimální tvrdost u mat. 1.4718 500 HV 0,025 a u materiálu 1.4882 650 HV 0,025 v hloubce 0,01 mm pod povrchem, byla u obou materiálů a při všech časech nitridace s dostatečnou rezervou splněna.

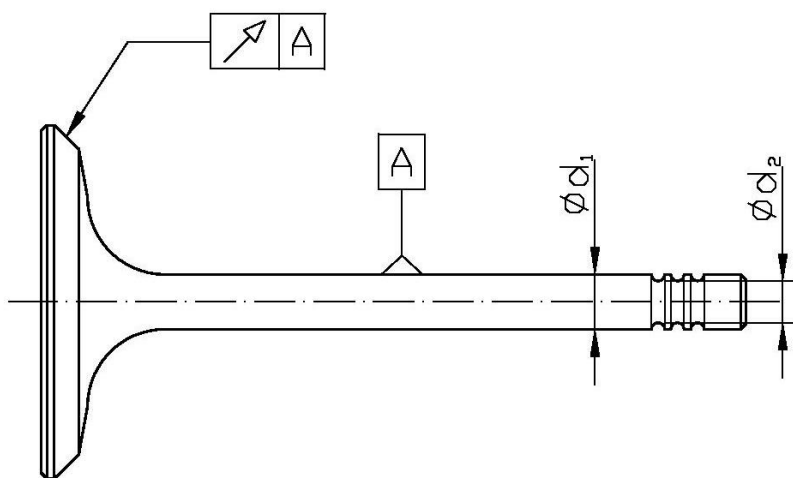
3.2 Změna rozměrů ventilů vlivem nitridace

Při chemicko - tepelném zpracování dochází ke změnám objemu materiálu. Při nitridaci ocel nabývá na objemu, kdy přírůstek bývá řádově 0,01 mm. Válcové součásti zvětšují svůj průměr, duté součásti průměr zmenšují a součásti tvaru tyčí se prodlužují. Tyto změny rozměrů jsou závislé na zvoleném druhu nitridace, na celkovém objemu součásti, na hloubce nitridační vrstvy a na chemickém složení materiálu.

Při výrobě ventilů s nitridovaným povrchem je proto nutné s těmito změnami počítat, a stanovit výrobní rozměry a tolerance na dokončovacích operacích tak, aby po nitridaci ventilu byly dodrženy předepsané konečné rozměry uvedené ve výkresové dokumentaci od zákazníka. Zjištění tohoto přírůstku je významné u průměru dříku, který se vyrábí s přesností pohybující se v rozsahu 0,004 – 0,008 mm.

3.2.1 Měřené rozměry

Pro zjištění změn rozměru ventilu po nitridaci byly zvoleny dva rozměry, které jsou dobře měřitelné, a jejich možná změna je rozhodující pro stanovení vhodných tolerancí a jmenovitých rozměrů na dokončovacích operacích před nitridací. Jedná se o průměr dříku d_1 a průměr drážky d_2 . Další sledovaný rozměr byla házivost sedla vzhledem k dříku ventilu. Na tento rozměr nemá vliv přírůstek objemu po nitridaci, ale může být ovlivněn teplotou při nitridaci a následným chladnutím materiálu. Uvedené sledované rozměry jsou znázorněny na obr. 15. Další rozměry ventilu nejsou vyráběny s takovou přesností, aby je proces nitridace výrazně ovlivnil a proto nebyly sledovány.



Obr. 15 – sledované rozměry ventilu

3.2.2 Postup zkoušky

Pro zkoušku bylo vybráno 10 monometalických ventilů vyrobených z materiálu 1.4718 a 10 monometalických ventilů vyrobených z materiálu 1.4882. Po změření zvolených rozměrů byla na ventilech provedena nitridace při teplotě 590 °C a čase 35 min. Po nitridaci byly ventily opět změřeny, a z rozdílů naměřených hodnot se u průměrů d_1 a d_2 vypočetla změna rozměrů.

3.2.3 Použitá měřidla

Pro měření průměru díku d_1 byl použit pasometr s měřicím rozsahem 0 – 25 mm a přesností měření 0,002 mm. Dík byl měřen v celé své funkční délce, a z naměřeného průběhu hodnot byl stanoven odpovídající průměr.

Na měření průměru drážek d_2 se používal speciální třmenový mikrometr s měřicím rozsahem 0 – 25 mm a přesností 0,01 mm. Měřené ventily byly vyrobeny se třemi drážkami. Průměr byl měřen pouze u prostřední drážky.

Házivost sedla byla měřena speciálním přípravkem s číselníkovým úchylkoměrem s přesností měření 0,001 mm. Toto měřidlo je znázorněno na obr. 16.



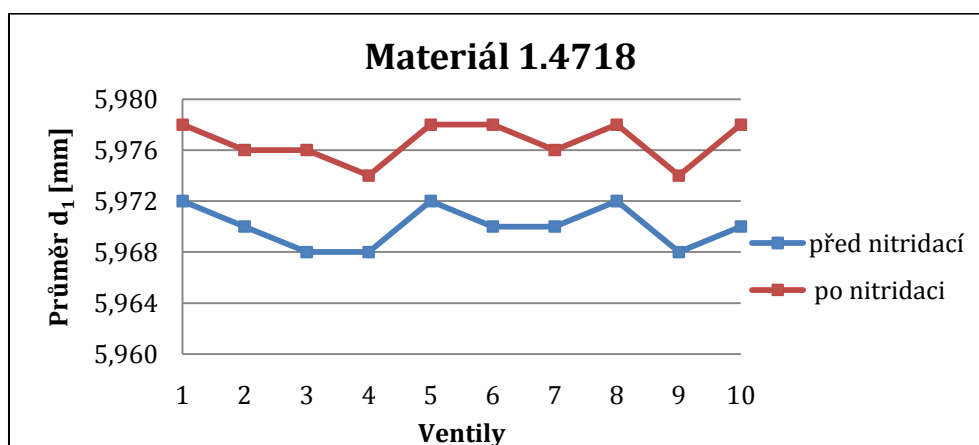
Obr. 16 – přípravek na měření házivosti sedla ventilu

3.2.4 Naměřené hodnoty

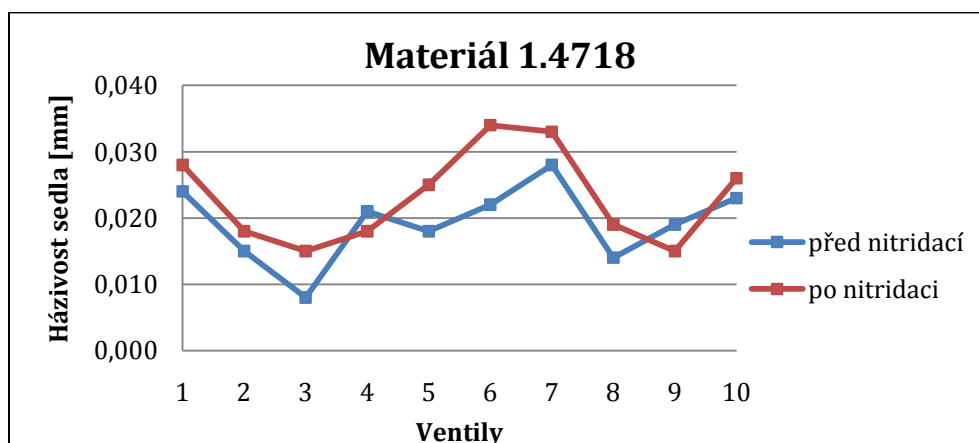
V tabulkách 5. a 6. jsou uvedeny naměřené hodnoty jednotlivých rozměrů pro každý ventil a druh materiálu. V grafech 3. a 5. jsou zobrazeny průměry d_1 a v grafech 4. a 6. je zobrazena házivost sedla.

Tab. 5 – naměřené hodnoty před a po nitridaci, vypočtený přírůstek

Materiál 1.4718										
Rozměry ventilů před nitridací										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$\varnothing d_1$ [mm]	5.972	5.970	5.968	5.968	5.972	5.970	5.970	5.972	5.968	5.970
$\varnothing d_2$ [mm]	4.580	4.590	4.590	4.590	4.580	4.590	4.580	4.580	4.580	4.590
h. sedla [mm]	0.024	0.015	0.008	0.021	0.018	0.022	0.028	0.014	0.019	0.023
Rozměry ventilů po nitridaci										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$\varnothing d_1$ [mm]	5.978	5.976	5.976	5.974	5.978	5.978	5.976	5.978	5.974	5.978
$\varnothing d_2$ [mm]	4.590	4.590	4.600	4.600	4.590	4.590	4.590	4.590	4.590	4.600
h. sedla [mm]	0.028	0.018	0.015	0.018	0.025	0.034	0.033	0.019	0.015	0.026
Vypočtený přírůstek										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$\varnothing d_1$ [mm]	0,006	0,006	0,008	0,006	0,006	0,008	0,006	0,006	0,006	0,008
$\varnothing d_2$ [mm]	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01



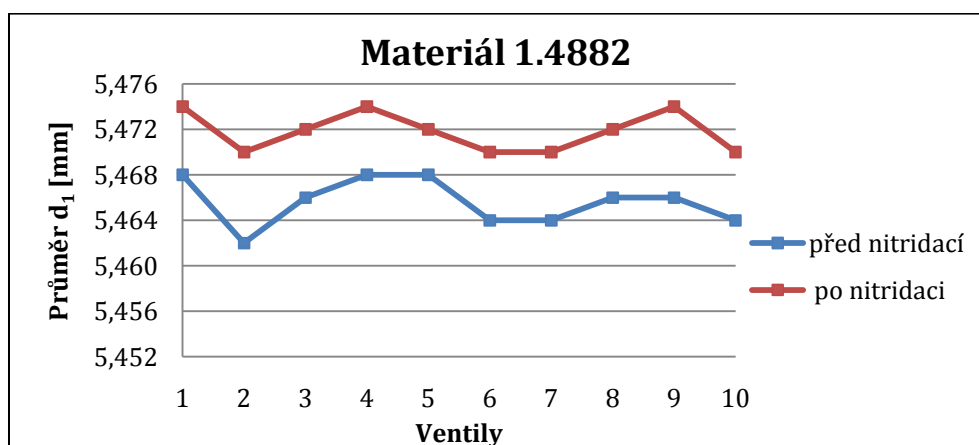
Graf. 3 – naměřené hodnoty průměru d_1 před a po nitridaci



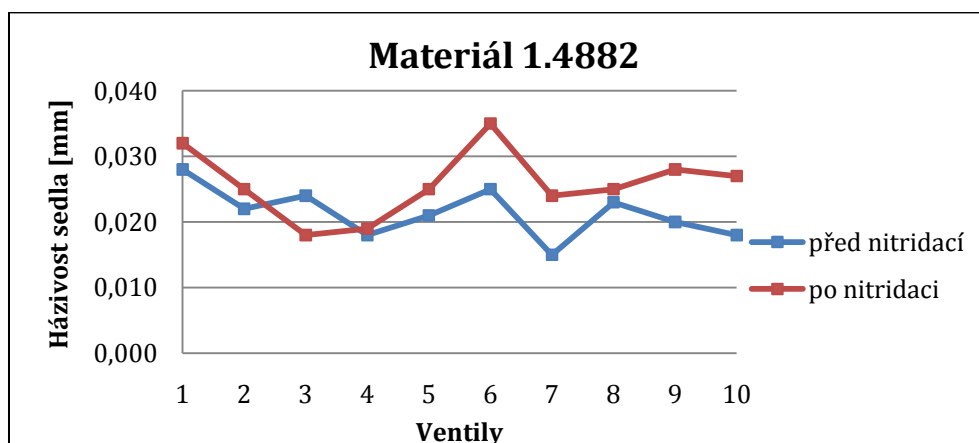
Graf. 4 – naměřené hodnoty házivosti sedla před a po nitridaci

Tab. 6 – naměřené hodnoty před a po nitridaci, vypočtený přírůstek

Materiál 1.4882										
Rozměry ventilů před nitridací										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$\varnothing d_1$ [mm]	5,468	5,462	5,466	5,468	5,468	5,464	5,464	5,466	5,466	5,464
$\varnothing d_2$ [mm]	4,660	4,650	4,650	4,640	4,650	4,630	4,640	4,650	4,640	4,630
h. sedla [mm]	0,028	0,022	0,024	0,018	0,021	0,025	0,015	0,023	0,020	0,018
Rozměry ventilů po nitridaci										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$\varnothing d_1$ [mm]	5,474	5,470	5,472	5,474	5,472	5,470	5,470	5,472	5,474	5,470
$\varnothing d_2$ [mm]	4,670	4,660	4,660	4,650	4,660	4,640	4,640	4,660	4,650	4,640
h. sedla [mm]	0,032	0,025	0,018	0,019	0,025	0,035	0,024	0,025	0,028	0,027
Vypočtený přírůstek										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$\varnothing d_1$ [mm]	0,006	0,008	0,006	0,006	0,004	0,006	0,006	0,006	0,008	0,006
$\varnothing d_2$ [mm]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01



Graf. 5 – naměřené hodnoty průměru d_1 před a po nitridaci



Graf. 6 – naměřené hodnoty házivosti sedla před a po nitridaci

3.2.5 Diskuse výsledků

Cílem této praktické části bylo zjištění změn sledovaných rozměrů ventilů vlivem nitridace. Z naměřených výsledků se ukázalo, že oba materiály vykazují přibližně stejné změny měřených rozměrů d_1 , d_2 a házivosti.

Z výsledků měřených hodnot, je u průměru dříku d_1 zřetelný přírůstek tohoto průměru. U obou materiálů je tento přírůstek přibližně stejný a pohybuje se v rozmezí od 0,004 do 0,008 mm. Průměrný vypočtený přírůstek ze všech měřených ventilů je 0,006 mm. Při operaci broušení a leštění dříku je proto nutné s tímto přírůstkem počítat, a upravit technologické jmenovité rozměry průměru dříku před nitridací tak, aby po nitridaci a leštění byly dodrženy předepsané hodnoty průměru stanovené výrobním výkresem.

Pro měření průměru drážek d_2 byl použit speciální třmenový mikrometr s přesností měření 0,01 mm. Protože přesnost měřidla byla menší než měřitelný přírůstek průměru, je změřená hodnota přírůstku průměru drážky 0,01 mm pouze přibližná. Tento výsledek je však vzhledem k přesnosti výroby drážek (tolerance cca. 0,08 mm) dostačující.

Z naměřených hodnot házivosti sedla nelze stanovit jednoznačné závěry. Převážně se házivost sedla u obou materiálů ventilů po nitridaci zvýšila. U některých ventilů zůstala stejná, a u některých se dokonce snížila.

Zkouška byla prováděná pouze u času nitridace 35 min. U jiných blízkých časů nitridace (30 – 45 min.), lze předpokládat, že změny rozměrů budou přibližně stejné, nebo se budou lišit jen minimálně od naměřených hodnot.

4. Závěr

1. V práci jsem charakterizoval pracovní prostředí a namáhání ventilů, popsal jednotlivé části ventilů a zpracoval přehled výroby ventilů v TRW – DAS a. s. Dačice.
2. Formuloval jsem nároky na materiál z hlediska namáhání tohoto dílu.
3. Zpracoval jsem přehled materiálů a povrchových úprav používaných při výrobě ventilů.
4. Cílem práce bylo zjistit vliv času nitridace na hloubku nitridované vrstvy a nalézt optimální čas pro vytvoření požadované nitridované vrstvy. Optimálním časem nitridace se rozumí čas, za který bude na všech částech ventilu s dostatečnou rezervou vytvořena požadovaná nitridační vrstva. Dále jsem zjišťoval, jak budou změněny významné rozměry ventilů po procesu nitridace. Sledován byl průměr dířku d_1 , průměr drážky d_2 a házivost sedla. Obě praktické části jsem realizoval na ventilech vyrobených z materiálů 1.4718 a 1.4882.
5. Vyhodnotil a shrnul jsem zjištěné výsledky.

Zjištěné poznatky:

Pro materiál 1.4718 se jako optimální doba nitridace ukazuje čas 25 – 30 minut, kdy je dosahovaná hloubka nitridace 18 – 23 μm .

U materiálu 1.4882 je čas nitridace pro dosažení optimální hloubky delší, a to 40 – 45 minut, kdy dosahovaná hloubka nitridace je 16 – 20 μm .

U obou druhů materiálů došlo po nitridaci k zvětšení průměru d_1 a d_2 o 0,006 mm. Házivost sedla se většinou zvýšila, někdy zůstala stejná, někdy se dokonce snížila. Tyto změny házivosti jsou pravděpodobně způsobeny nestejným chlazením jednotlivých částí ventilů.

Z práce plynou poznatky, které firma TRW – DAS a. s. Dačice využije při vytváření výrobních technologických postupů pro výrobu ventilů.

5. Seznam použité literatury

- [1] Ptáček, L. a kolektiv: *Nauka o materiálu I*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003
- [2] Sedláček, V.: *Povrchy a povlaky kovů*, skripta ČVUT Praha, 1992
- [3] Hrubý, V.: *Iontová nitridace*, SNTL Praha 1988
- [4] Kraus, V.: *Tepelné zpracování a slinování*, přednášky
- [5] *Provozní degradace austenitických ventilových ocelí*, Sborník semináře se zahraniční účastí, TUL Liberec 2006
- [6] Kubíček, J.: *Renovace a povrchové úpravy*, VUT Brno 2006
- [7] Čumpelík, J.: *Praktická dílna, spalovací motory 3*, zpracováno podle zahraničních materiálů
- [8] Interní materiály TRW – DAS a. s. Dačice
- [9] Somerlík, J.; Kadlec, L.; Kouba, M.: *Arcor proces – technologie sursulf s následnou oxidační lázní*
- [10] Federal Mogul, *Výměna ventilů, vodítek a vložek sedel ventilů*

Internetové stránky:

<http://www.ret-monitor.com/articles/1254/ceramic-valves/> [Datum: 8. 10. 2010]

<http://www.ndt.net/article/dresd97/netzel/netzel.htm> [Datum: 8. 10. 2010]

<http://www.mjauto.cz/newdocs/motor/kap1.htm> [Datum: 30. 9. 2010]

<http://www.mmspektrum.com/clanek/progresivni-reseni-nahrady-tvrdeho-chromovani>
[Datum: 8. 10. 2010]